

NÖVELT SZILÁRDSÁGÚ ALUMÍNIUM ÉS ACÉLLEMEZEK ALAKÍTHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FORMABILITY OF ENHANCED STRENGTH ALUMINUM AND STEEL SHEETS

Béres Gábor ^{1*}, Hareancz Ferenc ¹ Weltsch Zoltán ¹

¹ Anyagtechnológia Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Pallasz Athéné Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

DP acél,
6061 alumínium,
anizotrópia,
mélyíthetőség,

Keywords:

DP steel,
6061 aluminum,
anisotropy,
limiting dome height,

Cikktörténet:

Beérkezett 2016. szeptember 6.
Átdolgozva 2016. október 5.
Elfogadva 2016. október 20.

Összefoglalás

A nagy szériában végzett lemezalakításoknál, mint a járműkarosszéria-gyártásnál, a jól optimalizált folyamatok teszik lehetővé a termelékeny és minőségi alkatrész előállítását. Az utóbbi pár évtizedben megjelentek a karosszériagyártásban az új szerkezeti anyagok, az új tervezési és gyártási filozófiának köszönhetően. Egyre több gyártó alkalmaz növelt szilárdságú acél- és alumíniumötvözeteket egyaránt.

Munkánk során, a járműipar által jelentős mennyiségben feldolgozott alumínium és acélötvözetek terhelésre adott reakcióit vizsgáltuk szabványos körülmények között. A 6061-es alumínium ötvözet szakító- és Nakajima vizsgálatainak eredményeit, a nagyszilárdságú, mégis jól alakítható DP600 jelölésű acél próbatestek, megegyező körülmények között adott visszajelzéseivel hasonlítottuk össze.

Eredményeink szerint bár az alumínium lemez szakadási nyúlása meghaladja a DP acélét, az egyenletes alakváltozás tartományában értelmezhető alakíthatóság, az acél esetében jobbnak mondható. A két anyag mélyítési értékei bár több különböző geometriájú próbatestnél is hasonlóan alakultak, de ugyancsak a DP acél egyértelműen jobb alakíthatóságáról tanúskodnak.

Abstract

Optimized processes allow the productive manufacturing of high series sheet metal parts in the automotive industry. The accurate knowledge of the main parameters of the new car body structure materials which appeared in the last few decades is necessary. More and more manufacturers use enhanced strength aluminum and steel alloys to increase the crashworthiness.

This experimental work presents the results of tensile and dome tests of the widely used enhanced strength 6061 AlMgSi and DP600 automotive steel alloys. Based on the tensile tests' results it can be concluded that the thinning ratio of DP steel is the less, however the tensile elongation of the aluminum is the higher. The stretchability of DP steel also exceeds the AlMgSi, according to the limiting dome height values.

* Béres Gábor. Tel.: +36 30 4326711;
beres.gabor@gamf.kefo.hu

1. Bevezetés

A közúti járművek folyamatosan növekedő mennyisége különböző társadalmi és környezetvédelmi problémákhoz vezet. Ezért a járműgyártó cégeknek sokszor egymásnak ellentmondó követelményeknek kell megfelelniük és olyan tényezőket kell figyelembe venniük, mint például az üzemanyag hatékonyság, a káros anyag kibocsátás és a globális felmelegedés. Napjainkban, az autópárházban nagy szerepet kap a járművek tömegének csökkentése a káros anyag kibocsátás minimalizálása érdekében. A járműgyártó cégekre folyamatos nyomás nehezedik a fogyasztás és a károsanyag kibocsátás csökkentése miatt. A legújabb kutatások szerint 57 kg tömegcsökkenéssel 0,09-0,21 liter üzemanyag spórolható meg kilométerenként [1]. Ennek megfelelően, fontos eszköz a karosszéria tömegének csökkentése, mely a jármű teljes súlyának jelentős részét teszi ki. Ezen cél eléréséhez a gyártók olyan technológiai módszereket, alapanyagokat, használnak fel, melyekkel a karosszéria elemek gyártása során elérhető a kívánt tömegcsökkentés, a szilárdság – így a töréssel szembeni ellenálló képesség - megtartása mellett.

Ezen törekvések hatására jelentek meg a nagyszilárdságú acél- és alumínium ötvözetek a karosszéria elemek gyártásában. Az alumínium alkalmazásával az alkatrészek tömege akár az eredeti tömeg 30-40%-ára is csökkenthető. A nagyszilárdságú acélokból történő gyártás esetén ez az arány 20% körüli [1,2].

Cikkünkben 6061-es AlMgSi ötvözet és DP600-as második generációs nagyszilárdságú acél összehasonlítását végeztük el, kísérleti eredményekre korlátozódva és fókuszálva. Az anyagválasztást egyrészt az indokolja, hogy az autógyártás acélközpontúsága miatt, a szakemberek sok esetben problémaként kezelik az alumíniumot, mert az acélhoz képest speciális gyártóeszközökre és szaktudásra van szükség [2]. Másrészt a korszerű nagyszilárdságú acélokat tekintve, azok különleges mikroszerkezetének köszönhetően, még sok nyitott kérdés áll a kutatók előtt.

Természetesen, akárcsak az acéloknál, az alumínium karosszériaelemek gyártása során is jelentős szerepet játszanak az alapanyag tulajdonságai. Az alumíniumra jellemző, hogy az acéloknál sok esetben rosszabb alakíthatósága nem tesz lehetővé bonyolult geometriákat, éles karaktereket, így az ilyen tulajdonságú alapanyagból többnyire nagy, sík felületeket borító elemeket készítenek [3,4,5]. A nagyszilárdságú acélokból pedig jellemzően a teherviselő, illetve energia elnyelő szerkezeti elemek készülnek [6].

2. Felhasznált anyagok

A kísérletek során vizsgált két alapanyag típus szakítóvizsgálatokból nyert, alapvető mechanikai tulajdonság jellemzői az 1. Táblázatban találhatók. A vizsgált 6061-es AlMgSi ötvözet a járműiparban széles körben elterjedt, nemesíthető ötvözet. A megfelelő tulajdonságokat eredményező hőkezelés, a lemezelőállítás utolsó fázisában történik. A homogenizációt megeresztés követi, amely során végbemegy a kiválasztott keményedés, amely által az alkatrész nemesített állapotba kerül. Így az anyag már elegendő szilárdsággal rendelkezik ahhoz, hogy az előző pontban kifejtett rendeltetésének megfelelően, bár alakíthatósága a nemesítés előtti állapothoz később rosszabbnak mondható. A kísérletek során felhasznált lemez kémiai összetételét a 2. Táblázat mutatja.

1. Táblázat: A vizsgált anyagok legáltalánosabb mechanikai tulajdonság jellemzői

Anyagminőség	Rugalmassági modulus (MPa)	R _e (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
DP600	210x10 ³	445	656	20,6
AlMgSi	72x10 ³	109	209	24,3

2. Táblázat: A vizsgált AlMgSi ötvözet kémiai összetétele (%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	V
1,50	0,35	0,30	0,30	0,9	0,20	0,25	≤0,15	≤0,15

A DP600 nagyszilárdságú, alacsony karbontartalmú acél mikroszerkezetét ferrit és martenzit szövetelemek alkotják. Az acél makroszkopikus tulajdonságai, azaz szilárdsága és alakíthatósága jelentősen függ a martenzit százalékos mennyiségétől, illetve a martenzit szigetek méretétől, alakjától és eloszlásától [7,8,9]. Ezeknek a paramétereknek a beállítása a lemezgyártás során történik a megfelelő hőkezelési hőmérséklet és a karbontartalom helyes párosításával. A kutatómunka során felhasznált DP600-as lemez kémiai összetételét a 3. Táblázat tartalmazza.

3. Táblázat: A vizsgált DP acél kémiai összetétele (%)

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
98,6	0,09	0,17	0,87	0,01	<0,01	0,01	0,04	0,04

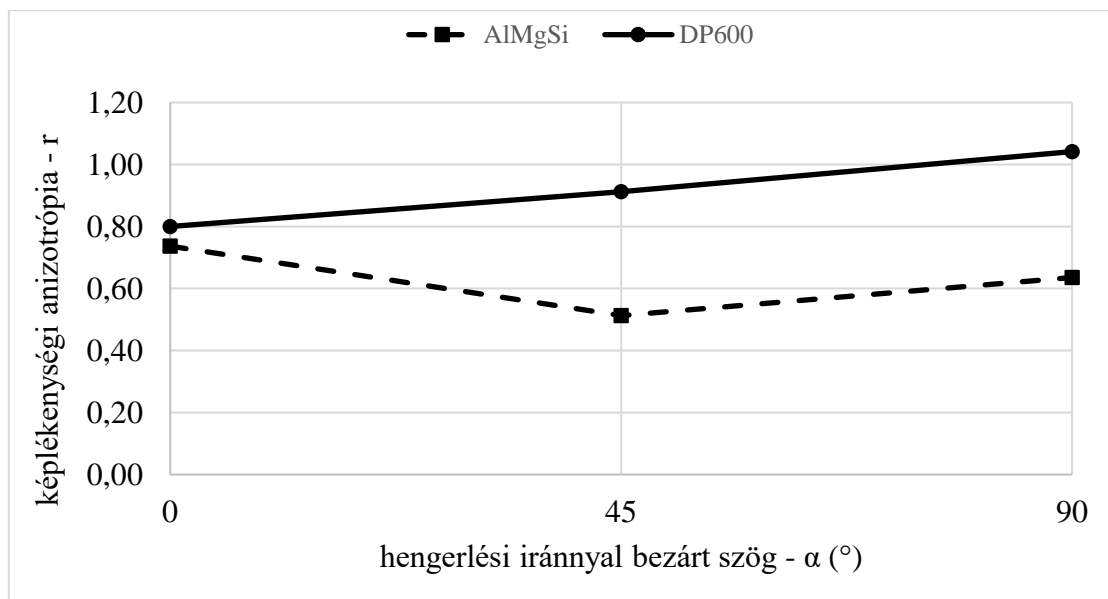
A fenti mechanikai tulajdonság jellemzőkből az alumínium ötvözet kisebb szilárdságára és - a nagyobb szakadási nyúlás érték alapján - jobb alakíthatóságára következtethetünk. Lévéen, hogy az alakíthatóság összetett fogalom és mértékét több tényező is jelentősen befolyásolhatja nem célszerű csupán ezekből az értékekből messzemenő következtetéseket levonni

3. Kísérleti eredmények

Munkánk során egytengelyű szakítóvizsgálatokat és mélyítő vizsgálatokat végeztünk. Előző a lemezanyag tulajdonságairól átfogó képet ad, míg utóbbi, jellemzően a járműiparban alkalmazott igénybevételekhez igazodik.

3.1. Szakítóvizsgálatok

A lemezanyagok általános szilárdsági és alakváltozási jellemzőit, szabványos előírások szerint kialakított próbatestek szakítóvizsgálatával állapítottuk meg. A hengerlési iránnyal párhuzamosan, arra merőlegesen és azzal 45°-os szöget bezáróan is több próbatestet szakítottunk mindkét anyagból, és számoltuk a „r” képlékenységi anizotrópia tényezőt és az „n” keményedési kitevőt. Az eredményeket, az egyes irányok szerint átlagolva az 1. ábra mutatja. Az ábra alapján a DP-s anyag izotróphoz közeli állapotúnak mondható, mivel az r értéke mindhárom irányban egy körüli, míg ez az alumínium ötvözetnél jelentősen egy alatt marad. A különböző irányok közötti eltérés egyik anyagnál sem haladja meg a 0,2-őt. A Lankford-féle szám (r) legkisebb értéke az alumínium lemezek esetében a hengerlési iránnyal 45°-os szöget bezáróan mutatkozik, míg a DP acélnál a hengerlési iránnyal párhuzamosan.



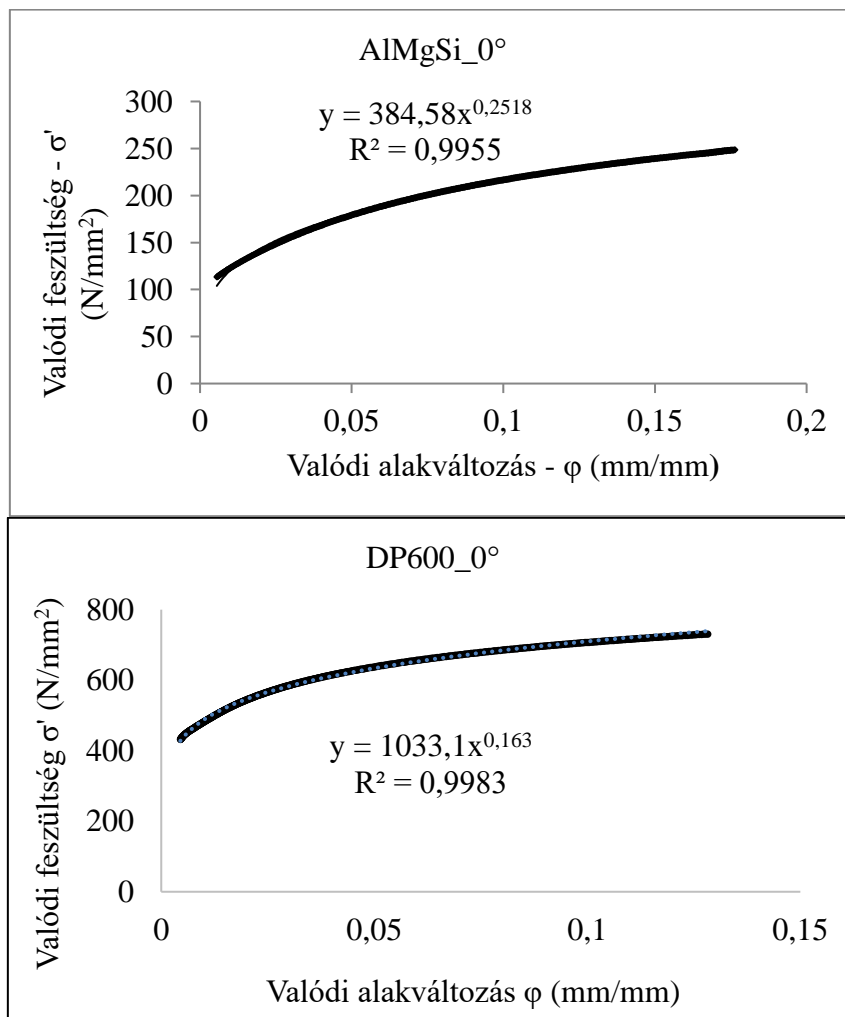
1. ábra: Az átlagos képlékenységi anizotrópia változása a hengerlési iránnyal bezárt szög függvényében

A DP-s anyag szélesség és vastagság irányú alakváltozásának hányadosa, a hengerlési iránnyal párhuzamosan közel megegyező, más irányokban nagyobb, mint az AlMgSi ötvözetnek. Ez az acél jobb alakíthatóságra utal – főleg a hengerlési iránnyal 45°-os szöget bezáróan -, még akkor is, ha az AlMgSi ötvözet szakadási nyúlása minden irányban meghaladja a DP acélét. Erre az alakváltozás közbeni kisebb mértékű elvékonyodási hajlam enged következtetni.

4. Táblázat: Képlékenységi mérőszámok

Anyagminőség	α (°)	r	\bar{r}	n	\bar{n}
DP600	0	0,80	0,92	0,17	0,16
DP600	45	0,91		0,16	
DP600	90	1,04		0,16	
AlMgSi	0	0,74	0,60	0,24	0,24
AlMgSi	45	0,51		0,24	
AlMgSi	90	0,64		0,24	

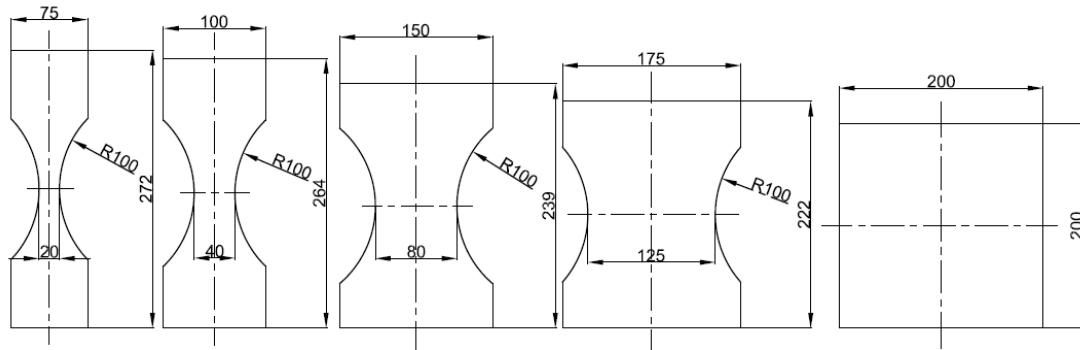
A keményedési kitevő (n) a lemezek képlékeny alakíthatósága szempontjából másik kiemelten fontos mérőszám. Értéke, az r értékekkel összefoglalva a 4. Táblázatban látható. A keményedési kitevőt az anyag folyásgörbéjének kiszervezésével, illetve a görbét leíró Nádai-féle matematikai modell meghatározásával kaptuk. A 2. ábra a hengerlési iránnyal párhuzamosan kimunkált próbatestekre vonatkozó folyásgörbéket szemléltet. Elmondható, hogy a Nádai-féle keményedési törvény mindkét anyag esetében jól közelíti a valóságot.



2. ábra: Az AlMgSi ötvözet (felül) és a DP600 (alul) folyásgörbéje

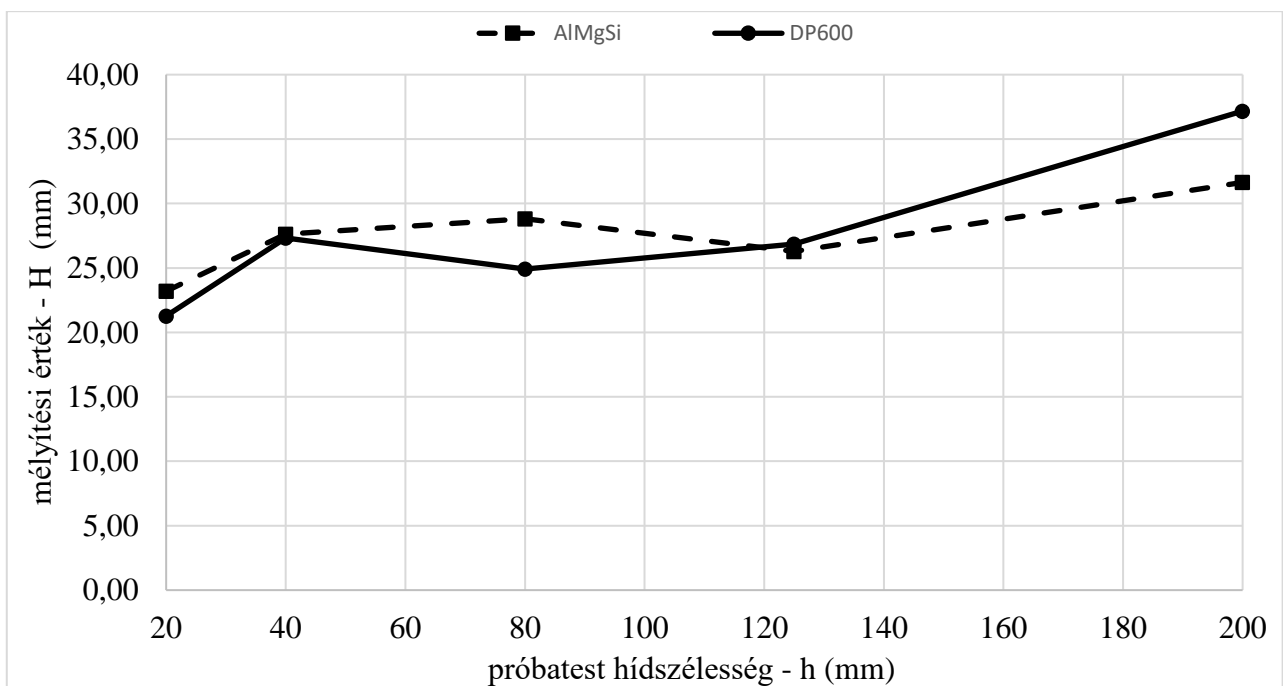
3.2. Mélyítő vizsgálatok

A mélyítő vizsgálat az alakítási határdiagram meghatározásának alap eszköze, melyhez öt különböző geometriájú próbatestet készítettünk a [10,11] irodalmak leírása alapján (3. ábra). Ezeket a próbatesteket, a szakirodalom, módosított Nakazima próbatesteknek nevezi. Eredetileg, a Nakazima próbatestek hídszélessége (az ábrán rendre: 20, 40, 80, 125, 200 mm) a vizsgált hossz azonos, így a szakadás, a próbatest hossz tengelye mentén bárhol bekövetkezhet. A 3. ábrán látható próbatest kialakításoknak köszönhetően a szakadás a legkisebb hídszélesség közelében fog várhatóan bekövetkezni. Ez megkönnyíti az optikai mérőrendszerrel való alakváltozás mérést is, amely az alakítási határdiagramok felvételének alap feltétele.



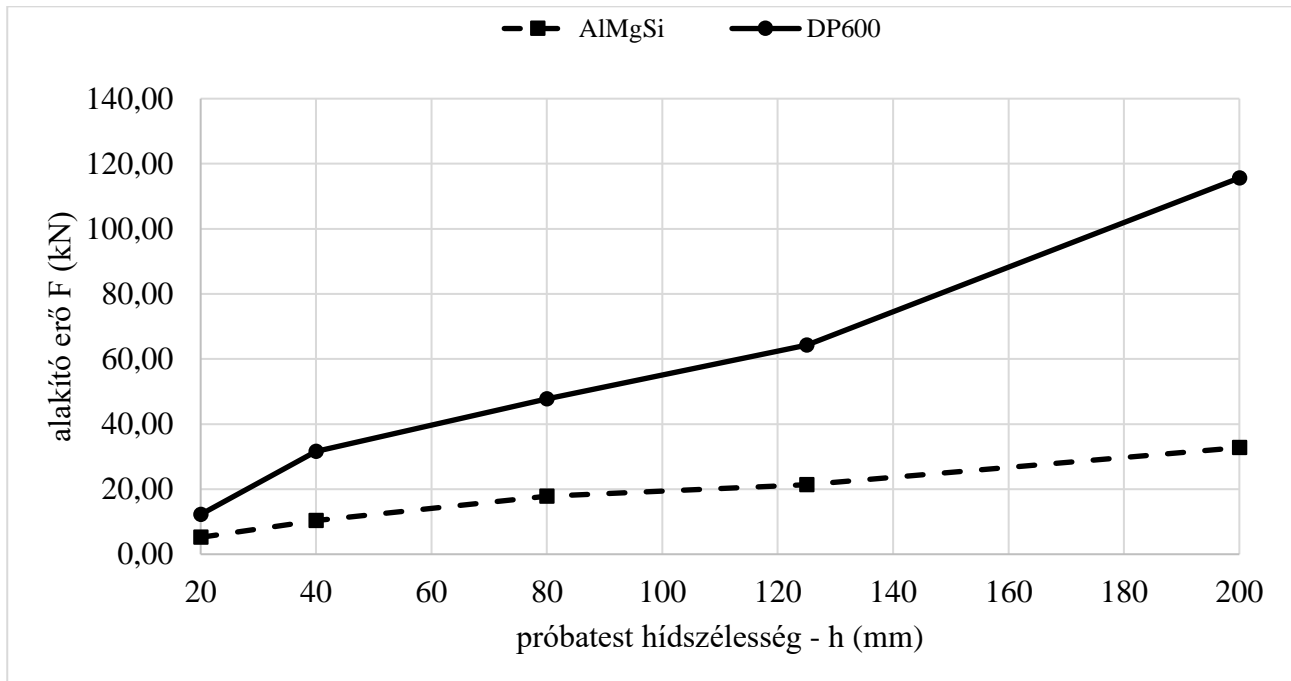
3. ábra: Próbatestek geometriája (mértékek mm-ben)

Az alakítási határdiagramokon kívül, egyéb fontos jellemzők is meghatározhatók a mélyítő vizsgálatok eredményeiből. A 4. ábra a szakadáshoz tartozó mélyítési értékek változását mutatja a hídszélesség függvényében. Ezek alapján az a megállapítás tehető, hogy a szakadáshoz tartozó mélyítési szám, az egyes geometriáknál hasonló tendencia szerint alakul. A 40 és 125 mm-es hídszélességű daraboknál a mélyítési mélység közel állandónak tekinthető mindkét anyagnál. A 80 mm-es próbatest kis kiugrást mutat a DP-s acélnál csökkenő, az AlMgSi ötvözetnél növekvő irányban. A 80 mm-es darabnál látható kisebb eltérést leszámítva, az első négy próbatest tönkremenetele közel hasonló értékeknél következett be. A 200 mm-es hídszélességű darabnál figyelhető meg először jelentős különbség.



4. ábra: Mélyítési érték a hídszélesség függvényében

A mélyítési erő változása a hídszélesség függvényében az 5. ábrán követhető. Mivel az alumínium próbatestek kisebb mélyítési értéknél szakadtak, és egyben kisebb szakítószilárdsággal (R_m) is rendelkeznek, a mélyítés erőszükséglete az acél próbatestek esetében a nagyobb. Az erő változásában két törés jellegű átmenet tapasztalható a 40 és a 125 mm-es hídszélességű DP600 próbatesteknél, ami az alumíniumra nem jellemző. Az acél esetében hasonló jellegű törés, a mélyítési érték diagramban is jól látható.



5. ábra: Mélyítési erő érték a hídszélesség függvényében

4. Összefoglalás

Két, a modern járműiparban fontos, és nagyarányú felhasználással bíró anyag mechanikai tulajdonságainak vizsgálatát végeztük el kísérleti módszerekkel. Laboratóriumi körülmények között került sor szakító, illetve mélyítő vizsgálatokra. A szakítóvizsgálattól várt eredmények a Lankford-féle szám és a keményedési kitevő értékének meghatározása volt. A mélyítővizsgálatok során bekövetkező deformációkat felhasználva megfigyeltük a mélyítési mélység illetve az alakító erő és a próbatess hídszélességének kapcsolatát. Az eredmények a következő pontokban foglalhatók össze:

A vizsgált DP acél r értéke 1 körüli, és a hengerlési irányval, illetve arra merőlegesen és azzal 45°-os szöget bezáróan is lényegében állandó. Az alumínium ötvözet r értéke, a hengerlés irányával 45°-os szöget bezáróan az acélénak nagyjából csak a fele, és más irányokban is elmarad attól. Ez az alumínium ötvözet rosszabb alakíthatóságára enged következtetni, még akkor is, ha annak szakadási nyúlás meghaladja a DP acélét.

Az anyagok mélyítési értékeinek megváltozási karakterisztikája, az egyes próbatestek hídszélességének függvényében közel hasonló. A 20, 40 és 125 mm-es hídszélességű próbatestek mélyítési értékei a két anyagnál jó közelítéssel megegyeznek, jelentősebb eltérés a kéttengelyű, húzó feszültségi állapotot szimuláló, 200 mm-es hídszélességű próbatess esetében mutatkozik. Az alakító erők változásának karakterisztikája a mélyítési értékek megváltozását leíró görbékkel összhangban vannak. Minden próbatess – azaz minden alakváltozási állapot - esetében a DP acél nagyobb erőt igényel.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 projekt részeként, Az Új Széchenyi Terv keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A publikáció elkészítését a Nemzeti Tehetség Program, NTP-EFÖ-P-15 pályázata támogatta.

A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] X. Cui, S. Wang, S. Jack Hu: A method for optimal design of automotive body assembly using multi-material construction, *Materials and Design*, 2008, 381–387.
- [2] Budai D., Tisza M., Kovács P. Z.: Autóipari alumínium ötvözetek alakíthatóságának vizsgálata növelt hőmérsékletű alakítás esetén, *GÉP, LXVII.* 2016, 23-28.
- [3] J. Hirsch: Aluminium in Innovative Light-Weight Car Design, *Materials Transactions*, Vol. 52, No. 5, 2011, 818-824.
- [4] M. A. Omar: *The Automotive Body Manufacturing Systems and Processes*, 2011, John Wiley & Sons, 61.
- [5] Han HN., Clark JP.: Lifetime costing of the body-in-white: steel vs.aluminium, *JOM* 1995; 47(5):22–8.
- [6] S. Keeler, M. Kimichi: *Advanced High Strength Steels Application Guidelines Version 5.0*, WorldAutoSteel, 2014.
- [7] X. Sun, K.S. Choi, A. Soulami, W.N. Liu, M.A. Khaleel: On key factors influencing ductile fractures of DP steel, *Materials Science and Engineering A* 526, 2009, 140–149.
- [8] F Ozturk, A Polat, S Toros, R C Picu: Strain Hardening and Strain Rate Sensitivity Behaviors of Advanced High Strength Steels, *Journal of Iron and Steel Research, International*. 2013, 20(6): 68-74.
- [9] W.J. Dan, Z.Q. Lin, S.H. Li, W.G. Zhang: Study on the mixture strain hardening of multi-phase steels, *Materials Science and Engineering A* 552, 2012, 1–8.
- [10] Kovács P. Z., Tisza M.: Korszerű alakíthatósági vizsgálatok, Tanulmány, készült a TÁMOP-4.2.2.A-11/1 KONV-2012-0029 Járműipari anyagfejlesztések project keretében, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, 2011.
- [11] Kovács P. Z.: Alakítási határdiagramok elméleti és kísérleti elemzése, PhD értekezés, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, 2012.